

# Nessie 2013: dal laboratorio di robotica alla didattica curricolare

**Giulio Vitale**

ITCS Erasmo da Rotterdam Bollate (MI)

[g.vitale@tiscali.it](mailto:g.vitale@tiscali.it)

Nessie2013 è la quinta generazione di robot auto-costruiti all'interno del Laboratorio Permanente di Robotica Didattica dell'ITCS Erasmo da Rotterdam di Bollate. Esso rappresenta la sintesi del percorso didattico seguito in cinque anni di sperimentazione di un progetto di Robotica Educativa. Da una piattaforma iniziale, basata per ragioni di flessibilità su tecnologia FPGA (*Field Programmable Gate Array*), si è passati a un sistema composito in grado di fornire un terreno multidisciplinare nel quale seminare elementi tecnici di pratica formativa, capaci di influenzare e "contaminare" la programmazione ordinaria curricolare, arricchendola di nuovi spunti e aggiornandola alle problematiche più attuali.

## Introduzione

Il Laboratorio Permanente di Robotica Didattica presso l'ITCS Erasmo Da Rotterdam di Bollate, è nato cinque anni or sono con una "mission"

fondata sui seguenti obiettivi:

- **Ampliare** l'offerta formativa con attività a partecipazione pomeridiana volontaria nell'ambito di un progetto generale, "Scuole Aperte", per mantenere aperta la scuola anche al di là delle ore curricolari previste dal piano di studio.
- **Sperimentare** nuove forme didattiche più coinvolgenti capaci di ribaltare il rapporto standard "docente – studente" senza rinunciare alla qualità dei contenuti.
- **Creare** uno spazio capace di simulare il modo di operare di un'impresa che si pone degli obiettivi da raggiungere e che si organizza per perseguirli (*progetto Impresa Formativa Simulata*).
- **Ravvivare** l'interesse verso le materie tecnico-scientifiche caratterizzanti l'indirizzo di studio scelto, mettendo in risalto l'idea che si può imparare divertendosi e che il metodo scientifico si fonda principalmente sulla curiosità verso la conoscenza e sul piacere della scoperta.
- **Offrire** uno spazio attrezzato in cui gli studenti hanno l'opportunità di operare in gruppo e di essere parte attiva nella scelta delle strategie da perseguire e nei contenuti da dare.
- **Educare** all'autonomia nell'affrontare problemi e imparare a risolverli, assumendosi sia il carico della ricerca delle strategie opportune, sia la necessità di "tenere duro" nel tentativo di superare le innumerevoli difficoltà che la realizzazione di un oggetto completo comporta, ma, nello stesso tempo, di assaporare la soddisfazione di aver portato a termine un progetto complesso che si traduce in un sistema reale funzionante autonomamente.
- **Praticare** senza vincoli restrittivi l'idea di una didattica "laboratoriale" basata sul *problem solving*, in cui questa prassi di lavoro cessa di essere un concetto astratto presupposto e diventa effettivamente ciò che deve essere, cioè un metodo operativo reale in cui lo studente è costantemente coinvolto e il compito del docente diventa soltanto quello dell'orientare, consigliare e indicare possibili soluzioni.

Nel corso dei cinque anni di attività, a fronte di un successo progressivo, che ha visto una crescita costante del numero di studenti coinvolti e dell'interesse verso i contenuti trattati, sono emerse due questioni importanti che richiedono particolare attenzione. La prima consiste nel mantenere costantemente alto l'interesse e la continuità nel succedersi

delle varie annate di studenti; la seconda riguarda le relazioni tra le attività del Laboratorio di Robotica con i contenuti dei programmi ufficiali svolti nella didattica ordinaria.

I due problemi non sono del tutto indipendenti e la ricerca della soluzione alla prima sfida ha fornito i criteri su cui fondare la seconda.

## Alimentare l'interesse

Una soluzione al primo quesito è stata quella di **progettare internamente un nuovo robot ogni anno** che tenesse in conto le esperienze passate ma che fosse sempre rivolto al futuro, mantenendo inalterato l'impegno a farlo nascere e crescere nel nostro laboratorio.

Nel 2008 abbiamo iniziato le attività adottando una scelta tecnologica basata sul massimo della flessibilità e della possibilità di evolvere progressivamente, di pari passo alla maturazione della nostra esperienza e al conseguente sviluppo delle competenze.

La soluzione adottata di basare il nostro progetto su un sistema completamente riconfigurabile della famiglia Spartan 3E della Xilinx, si è dimostrata adeguata e, impiegando sempre la stessa scheda di base, abbiamo potuto rimodellare ogni anno i nostri robot, cercando di risolvere i limiti dimostrati da una soluzione in un'altra che fosse in grado di superarli.

La partecipazione a tutte le manifestazioni organizzate dalle Rete di Scuole per la Robocup Jr Italia, da Torino 2009 a Pescara 2013, è stato l'appuntamento culminante che ogni anno ha fatto, prima, da stimolo a concludere il progetto, poi, da incoraggiamento a trasformare il dispiacere della sconfitta nell'entusiasmo della scoperta che è sempre possibile migliorare, ritrovando la carica giusta per superare se stessi.

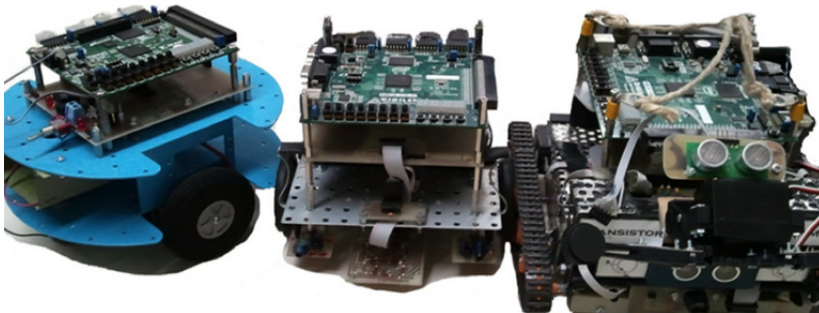


Fig. 1 – Da sinistra a destra i modelli 2008, 2009 e 2010.

I primi tre modelli sono serviti a tracciare il percorso che i nostri robot "auto-costruiti" avrebbero dovuto seguire, anche se risultano ancora piuttosto "rozzi".

## La nascita della nuova generazione: Nessie 2011

Con Nessie 2011 il lavoro dei ragazzi che man mano si alternavano nelle attività del Laboratorio di Robotica, ha iniziato ad assumere una forma più matura, cercando anche del supporto esterno per la realizzazione delle parte meccaniche, impossibili da gestire internamente con le risorse disponibili.

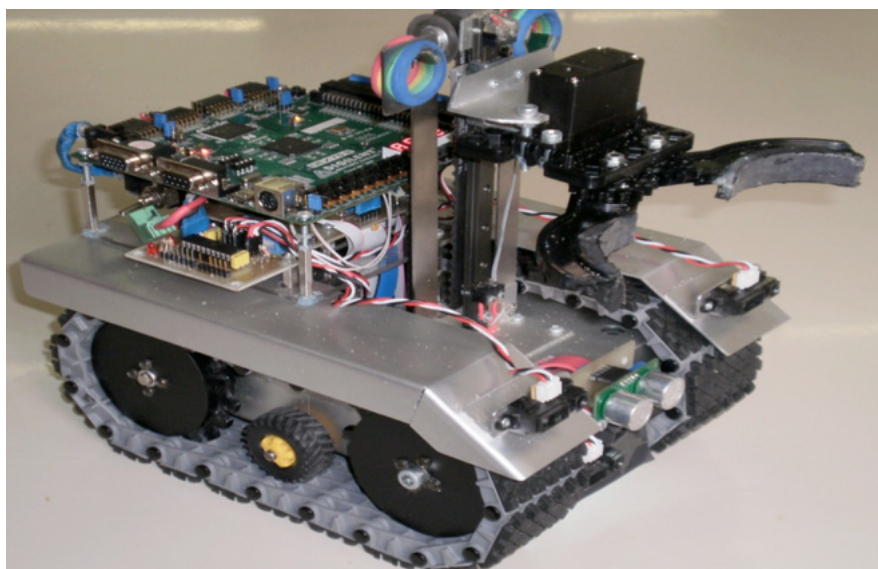


Fig. 2 - Il modello 2011.

Nessie 2011, presentata a Catania in occasione della Robocup Jr 2011, è dotata di una meccanica solida ma presenta alcune limitazioni. L'ingombro è un po' eccessivo, e la rende poco agile nelle manovre negli spazi stretti; i sensori di luminosità, realizzati in laboratorio, per l'inseguimento della linea non sono sempre adeguati, specie nel caso di linee con variazioni di direzione corte e rapide.

## La prima evoluzione: Nessie 2012

Partendo dai problemi rilevati a Catania, al gruppo dei nuovi partecipanti alle attività del Laboratorio di Robotica, giunti dalla precedente esperienza sulla piattaforma Lego NXT, è stata proposta la nuova sfida di superare questi difetti riprogettando interamente Nessie nell'anno successivo, iniziando dalla meccanica per finire nella dotazione dei sensori, lasciando immutata la piattaforma della scheda di gestione grazie, appunto, alla flessibilità offerta dalla FPGA. Nessie 2012 è stata interamente ridefinita nelle sue interfacce, sia verso i sensori sia verso gli attuatori, offrendo una considerevole quantità di stimoli didattici propagati alle materie d'indirizzo. Infatti i nuovi sensori introdotti (sensore di luminosità a scansione lineare di 128 pixel, accelerometro a tre assi per il controllo dell'assetto, display a colori grafico con touch-screen, gestione dei motori con controllo PID implementato via hardware) hanno offerto spunti interessanti per materie come Controlli, Informatica Industriale, Elettronica.

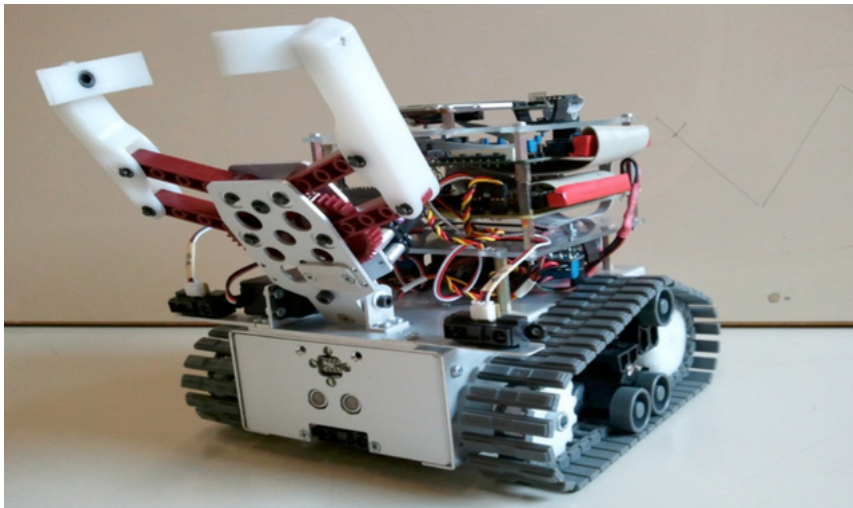


Fig. 3 - Nessie 2012.

Dal punto di vista dell'architettura di sistema Nessie 2012 si presenta già come sistema completo, molto distante dal primo robot degli esordi del 2008 ma, comunque, sempre basato sulla stessa scheda madre. La figura illustra la configurazione complessiva del microcomputer "embedded" nella FPGA che governa Nessie in cui si possono notare le interfacce

verso le periferiche specifiche, personalizzate grazie alla ri-programmabilità hardware della piattaforma scelta e alla possibilità di rimodellarla sulle nuove esigenze.

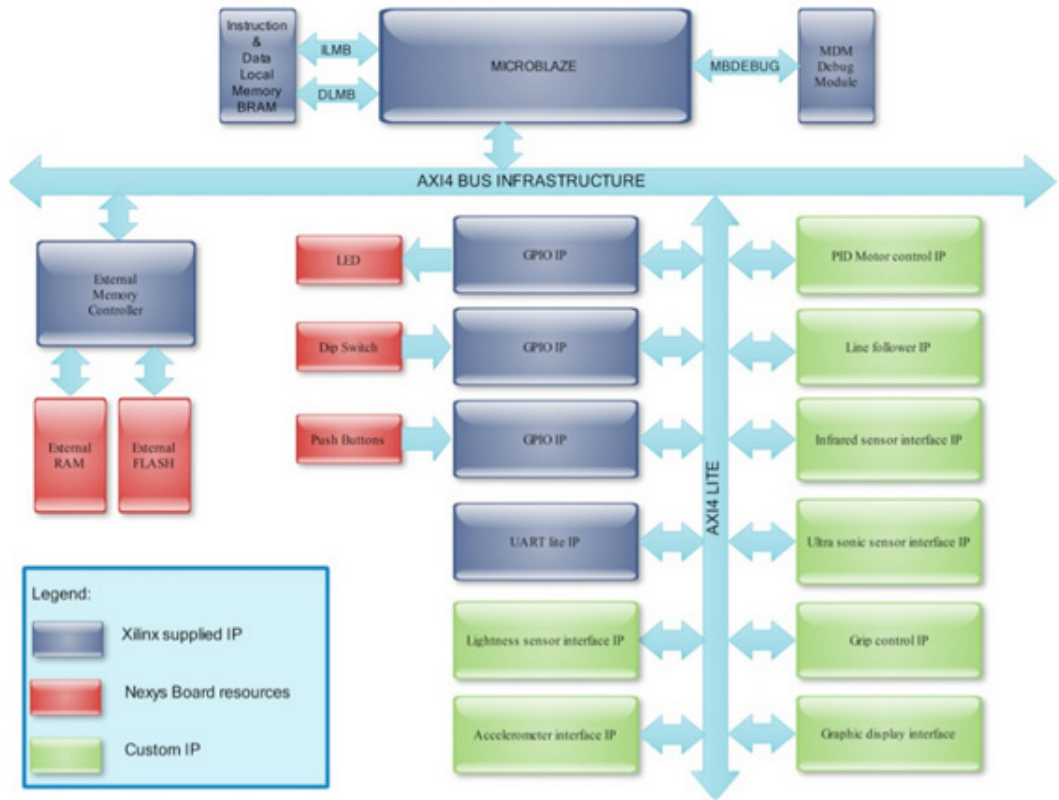


Fig. 4 – Schema a blocchi dell'intero sistema embedded nella FPGA

Dal punto di vista didattico, con Nessie 2012 si è potuta sperimentare la realizzazione di nuove interfacce più avanzate.

Un primo esempio è stato lo studio delle problematiche concernenti il controllo automatico di velocità PID realizzato in hardware. L'argomento trova uno stretto collegamento con gli argomenti trattati nel corso di Controlli, presente ancora per questi ultimi due anni nel piano di studi dell'Erasmus da Rotterdam, prima della normalizzazione imposta dal nuovo ordinamento.

Un'ulteriore opportunità di approfondimento tecnico è stata l'introduzione dei primi elementi di manipolazione delle immagini, in occasione della valutazione di un sensore di luminosità, realizzato su una struttura lineare di 128 fotodiodi, da impiegare come inseguitore di linea.

In questo caso la sfida proposta agli studenti è stata quella di riconoscere la presenza della linea nera nella stringa dei pixel letti dal sensore e determinarne la posizione relativa per usarla come volante per la definizione della direzione del moto.

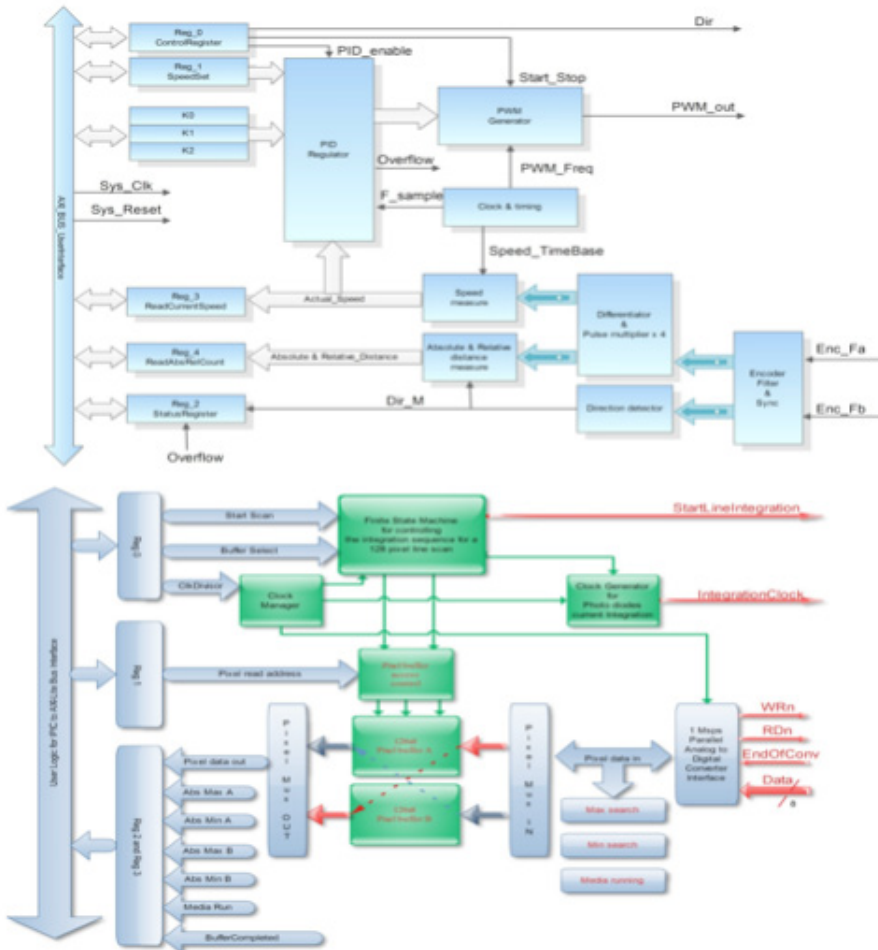


Fig. 5 – Esempi d’implementazione di interfacce “custom”, interne al modulo FPGA, per il controllo automatico di velocità e di gestione del sensore ottico lineare a 128 pixel.

## **Nessie 2013, la fase dell'esportazione dei contenuti: "dai robot auto-costruiti alla didattica auto-costruita"**

L'idea di Nessie 2013 è nata nell'anno scolastico corrente durante il quale, alla normale attività di programmazione didattica, si è sovrapposto il problema di cambiare e rimodulare i programmi specifici, sorto in concomitanza con l'entrata in vigore del nuovo ordinamento nel triennio della Scuola Secondaria Superiore.

Il progetto di Nessie 2013, oltre a rappresentare un elemento di continuità alla parola d'ordine "Un nuovo robot auto costruito per ogni anno", è nato con il presupposto di rappresentare un esempio concreto di come il Laboratorio di Robotica si possa porre in relazione con le materie curriculari obbligatorie ed essere integrato come ambito di sperimentazione, sia nei metodi didattici sia nei contenuti, consentendo alla robotica di entrare ufficialmente nei programmi degli insegnamenti tecnico-scientifici.

I presupposti aggiuntivi, alla base della nascita di Nessie 2013, includono la ricerca di una soluzione ai seguenti quesiti:

- I. L'organizzazione dei gruppi di lavoro per perfezionare e rafforzare l'esperienza acquisita.
- II. L'esportazione delle esperienze del Laboratorio di Robotica nella didattica curricolare sia nel biennio sia nel triennio.
- III. La sperimentazione di nuovi approcci progettuali che tengano conto delle emergenti possibilità tecnologiche proliferate in questi ultimi anni e offerte dai sistemi embedded a basso costo.



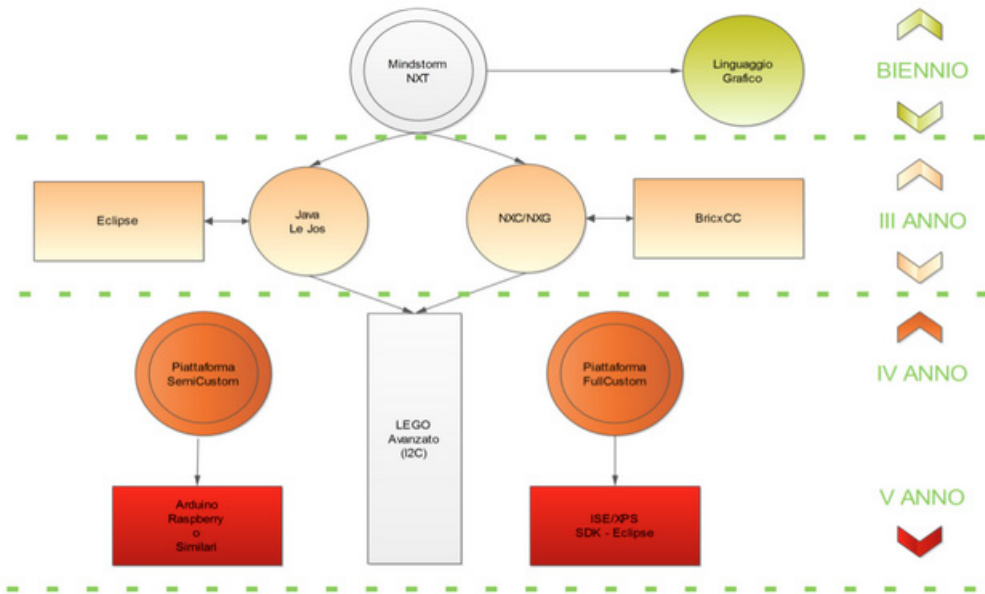


Fig. 6 – Organizzazione dei gruppi di lavoro divisi per classi di appartenenza e per piattaforma di sviluppo utilizzata in ognuno di essi.

## La riorganizzazione dei gruppi di lavoro

Il Laboratorio di Robotica è stato inizialmente attivato per essere aperto a studenti che volontariamente desideravano vivere questa esperienza, senza alcun vincolo sulle classi di provenienza, proprio per dar loro la possibilità di aggregarsi secondo una ripartizione spontanea delle competenze e in funzione del grado di confidenza reciproca.

Naturalmente col passare degli anni il numero di studenti è aumentato considerevolmente fino a diventare, nel corso del corrente anno scolastico, sufficiente a formare due classi di 15 studenti ciascuna. Ciò ha reso necessaria un'analisi più dettagliata dell'organizzazione dei gruppi di lavoro e della definizione dei contenuti e degli strumenti da utilizzare per ognuno di essi. Il risultato di quest'analisi è stato il primo passo per individuare i collegamenti tra le attività del Laboratorio di Robotica e il corso di studio ordinario, in modo da poter fruire delle sinergie possibili, sia in termini di motivazione che di rafforzamento delle conoscenze, abilità e competenze poste come obiettivi da perseguire dalla programmazione

delle attività didattiche.

Per i ragazzi del **biennio**, si può impiegare la piattaforma NXT con il linguaggio grafico NXT-G, per ovviare alle prime barriere imposte dalla conoscenza di un linguaggio formale e iniziare, fin dal primo anno, con una programmazione "intuitiva", basate su icone, senza però togliere nulla al rigore logico necessario per utilizzarla.

Per i ragazzi del **triennio**, i gruppi di lavoro sono stati divisi in due livelli di complessità:

- Per gli studenti **terzo anno**, si prosegue con la piattaforma Lego NXT, utilizzando però un linguaggio di programmazione più professionale, C o Java, in coordinamento con l'indirizzo scelto dalla programmazione didattica e con le indicazioni dei docenti di Informatica. Per questo livello si può già proporre ai ragazzi la partecipazione alla Robocup Jr Under 19 e la messa a punto di robot autonomi, capaci di svolgere un percorso completo.
- Per i ragazzi del **quarto e quinto anno**, si propone il **passaggio ai robot auto-costruiti**, in cui sono richieste conoscenze tecniche più avanzate e una maggiore autonomia di lavoro. Il passaggio agli auto-costruiti può essere fatto in modo progressivo, impiegando i ragazzi più grandi come "tutor" dei più giovani e dividendo i gruppi in modo da sfruttare, da un lato, il progetto dell'anno precedente, migliorandone solo il software, dall'altro avviare il progetto di una nuova generazione che parte dai limiti della precedente.

Dall'esperienza di questi anni si è giunti alla conclusione che un progetto ex-novo di un membro della famiglia Nessie richiede un ciclo di due anni per essere veramente pronto a gareggiare. Il primo anno, vanno risolti tutti i problemi relativi alla sua struttura meccanica, al progetto e ai test di tutte le interfacce elettroniche e dell'assetto complessivo della architettura informatica; il secondo anno, può essere dedicato alle rifiniture strutturali e alla messa a punto di un software di qualità che sia in condizioni di affrontare appieno un regolamento internazionale della Robocup.

## La robotica nel biennio degli Istituti Tecnici

Nel biennio del nuovo ordinamento degli Istituti Tecnici sono previste due materie che riguardano il primo contatto con le tecnologie dell'ICT e

che possono essere un primo livello di aggancio.

Nella **prima**, TECNOLOGIE INFORMATICHE, può essere inserito al primo un modulo riguardante una prima introduzione alle architetture di elaborazioni dati, usando un linguaggio di programmazione molto intuitivo, come quello grafico offerto dalla piattaforma Mindstorm NXT.

In questo ambiente, senza vincoli dell'introduzione di strutture formali e procedurali astratte, può essere subito svolta la prima attività di programmazione. I ragazzi possono facilmente essere avviati alla definizione di algoritmi, concentrandosi sulla struttura logica del programma, senza filtri derivanti dalle regole di formulazione. Il linguaggio grafico, peraltro, aiuta a concepire la scrittura di un programma come un insieme di moduli gerarchici e abitua all'analisi "top-down" del problema, indirizzando i ragazzi alla necessità della scomposizione analitica di un sistema complesso e al porre attenzione alle relazioni tra le singole parti.

In questo primo anno l'uso del robot dovrebbe essere finalizzato principalmente allo studio di problemi interdisciplinari, legati non tanto al robot in quanto automa in grado di interagire con l'ambiente in modo autonomo ma, principalmente, come sistema di calcolo interattivo per sperimentare problemi legati ad altre materie scientifiche. Ad esempio, in **fisica**, l'interazione riguarda non soltanto la dinamica e la cinematica, ma anche tutte le discipline che studiano le leggi fisiche che governano le svariate tipologie di sensori con cui un robot interagisce con l'ambiente (luminosità, infrarossi, ultrasuoni, temperatura, voce, gravità, campo magnetico, ecc.); in **matematica** serve a dare concretezza a concetti che si riferiscono ai modelli di relazioni tra spazio, tempo e moto. Molto utile a tal proposito è il libro "*Imparare con la robotica: applicazioni di problem solving*" di M. Moro, E. Menegatti, F. Sella e M. Perona - Ed. Erickson.

La **seconda**, SCIENZA E TECNOLOGIA APPLICATA, può trarre un enorme vantaggio dall'uso della stessa piattaforma Lego NXT ma iniziando a sviluppare l'idea di robot nel senso più vero della parola, ovvero come progetto di una intelligenza artificiale di supporto alle attività normalmente svolte dall'uomo, dotato di una propria autonomia d'azione e di finalità del proprio comportamento. Si possono introdurre i primi problemi d'interazione con l'ambiente e i concetti di programmazione più avanzata rivolta a problematiche legate al "real time" e al "time sharing", in cui occorre fare fronte alla molteplicità degli eventi paralleli necessari a compiere un'azione finalizzata da effettuarsi nello spazio reale e, quindi, di tutte le variabili aleatorie di disturbo introdotte dall'ambiente esterno.

Si comincia a far considerare quale deve essere il livello di approssimazione necessario per adattare un algoritmo ideale alle condizioni reali. In questo ambito possono essere avviate anche ricerche collaterali, in cui si può studiare come i robot, analogamente a quanto accaduto alle altre tecnologie dell'ICT, stanno uscendo man mano dalle fabbriche per diventare sempre più "robot di servizio" che interagiranno e influenzeranno profondamente la nostra vita quotidiana, esattamente come è successo con i computer, Internet, la telefonia fissa e mobile, la televisione, ecc. Insomma, bisogna preparare i nostri ragazzi perché sappiano accogliere, in un futuro più prossimo di quanto si possa sospettare, l'ingresso dei robot nel loro "universo digitale quotidiano", con tutti i problemi culturali, etici e sociali connessi.

## La robotica nel triennio degli Istituti Tecnici

Naturalmente nel triennio il rapporto diventa più forte e articolato ed è legato alla vocazione specifica della scuola. Comunque alcuni elementi possono essere considerati validi a livello generale. Tra tutti:

- Mantenere il **duplice binario**: obbligatorio e volontario. Ovvero lasciare sempre uno spazio sperimentale, libero da "vincoli di programma", in cui i ragazzi si possono organizzare per gruppi di lavoro finalizzato e lavorare con tempi e modalità "laboratoriali". Cioè fruire di tutti i vantaggi precedentemente descritti della disponibilità di un Laboratorio Permanente di Robotica Didattica nel piano dell'offerta formativa.
- **Contaminare i modelli didattici** e tecnologici della didattica curricolare con le esperienze sperimentali pomeridiane. Occorre usare la robotica didattica come spazio per mettere alla prova nuovi paradigmi formativi e nuove tecnologie e poterne verificare la valenza. Ciò è particolarmente rilevante in questa fase d'incertezza nella Scuola italiana per contenere i danni di un nuovo ordinamento non ben preparato, programmato e supportato dai necessari sforzi economici per metterlo in atto e per evitare che le nuove discipline nascano su tecnologie obsolete.
- Utilizzare piattaforme di lavoro **virtuali** basate su tecnologie informatiche al più alto livello di astrazione. I robot devono svolgere compiti sempre più raffinati con livelli di specializzazione sempre più spinti e, inoltre, i tempi di sviluppo devono ridursi. Questo richiede l'uso di piattaforme con un maggior grado di riconfigurabilità e fles-

sibilità, capaci di fruire di strumenti di sviluppo ad alta produttività e di riutilizzo del "know how" già acquisito.

- **In ogni caso il "Physical Layer" non può essere ignorato!**

Nella formazione dei futuri tecnici non possono essere del tutto trascurate le tecnologie che sono alla base del funzionamento dei dispositivi e che formano il telaio su cui poggiare l'intera struttura informatica virtuale.

La sperimentazione di nuovi approcci progettuali negli Istituti Tecnici a vocazione legata all'ICT

Nel nostro caso, operando in un Istituto Tecnico a indirizzo "Informatica e Telecomunicazioni", la declinazione delle corrispondenze e degli ambiti di sperimentazione si può sintetizzare nei punti seguenti:

- **A. Abbandonare** fin dal primo anno del secondo biennio, sia nella materia "Telecomunicazioni" sia in "Tecnologie dei Sistemi Informatici e di Telecomunicazioni", l'approccio classico all'insegnamento dei sistemi digitali basato sulle tecnologie a "logica sparsa" delle classiche famiglie 74xx/4xx di porte logiche elementari, e iniziare, senza indugi, con la progettazione ad alto livello fondata su logiche programmabili, come le FPGA della Xilinx sperimentate nei nostri robot. Le classiche reti booleane, combinatorie e sequenziali, acquistano un altro significato nella formazione degli studenti, abituandoli fin da subito a una progettazione sistemistica e modulare, che tende a valorizzare la ricerca di soluzioni più generali, che forniscono risposte immediate e coerenti per abbreviare il percorso dall'idea creativa alla sua implementazione effettiva.
- **B. Sviluppare** ulteriormente il modello "**System on chip**" e/o "**Embedded System**" partendo da architetture allo stato dell'arte e didatticamente ricche di spunti, come le CPU ARM, usando il Laboratorio di Robotica come primo terreno di esplorazione. Un esempio valido di piattaforma robotica introduttiva, in via di sperimentazione, è il sistema Stellaris EvalBot della Texas Instruments, basato sulla CPU Cortex M3, e dotato di un ricco corredo di materiale didattico.
- **C. Introdurre lo studio dei sistemi operativi**, usando un ambiente come "Embedded Linux". Molte piattaforme "low cost" e "open hardware" lo propongono come sistema "rommato" (Raspberry, BeagleBone, CubieBoard, MK800, Olimex, ecc.) e molti nuovi testi proposti nel nuovo ordinamento lo utilizzano come "case study". Si può fruire di enormi economie di scala e si possono creare laboratori

“dinamici”, facilmente riconvertibili, giacché si ha ormai l’accesso a prestazioni confrontabili con quelle di un personal computer con una spesa dell’ordine di grandezza dei 60 Euro.

Ogni studente può avere a disposizione il suo personale sistema di sviluppo, a scuola come a casa.

## Nessie 2013

Nessie 2013 è stata concepita tenendo in conto tutti gli aspetti indicati e si propone come modello di riferimento con un’architettura “a livelli” in cui sono presi in considerazione tutti gli aspetti che riguardano il ciclo produttivo completo del robot, partendo dalla parte meccanica, per giungere fino al software.

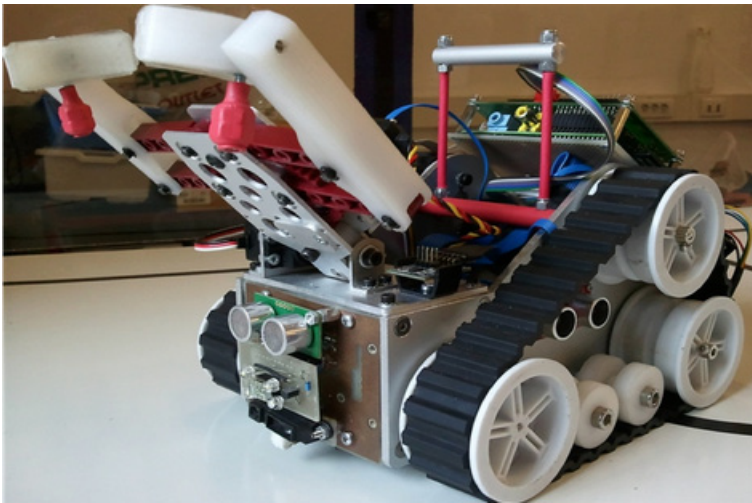


Fig. 7 – Nessie 2013.

Iniziando dal “*Physical Layer*”, l’uso di una stampante 3D permette il progetto meccanico e l’impiego di strumenti CAD per l’ingegnerizzazione del prodotto.

Con le FPGA possono essere sviluppate tutte le problematiche relative alla gestione dell’hardware, modellandolo alle necessità dell’applicazione e di gestione, e implementando il primo livello di protocollo “Data Link” per dialogare con la scheda di gestione su cui è presente il sistema operativo necessario a sviluppare i layers “Presentation” e “Application”.

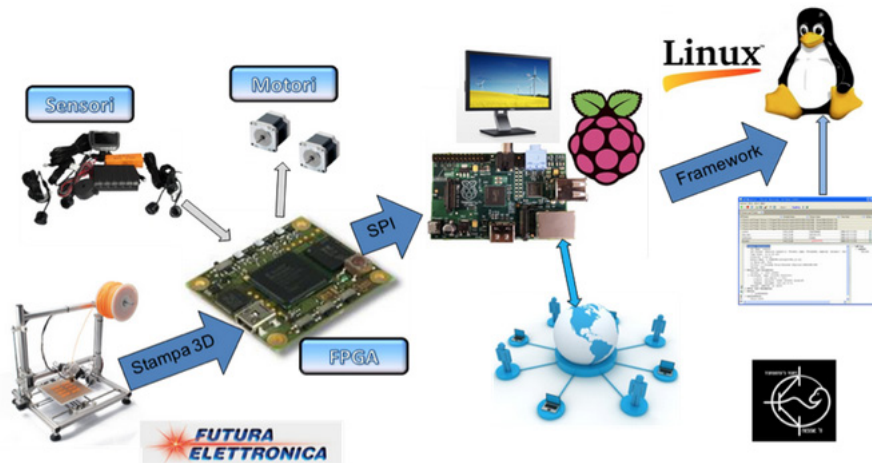


Fig. 8 – La struttura a “layer” del progetto Nessie 2013: dal “physical layer” all’ “application layer”. Dalla stampa 3d per il progetto meccanico all’uso di Linux Embedded per lo sviluppo autonomo dell’applicazione.

Nessie 2013 è stata completata quest’anno e competerà nella prossima manifestazione della Rete di Scuole per la Robocup Jr Italia. Essa è il frutto di un fortissimo impegno da parte dei miei studenti del Laboratorio di Robotica di quest’anno, confrontabile con quello dei tecnici di una “avanzatissima start up” operante nell’ambito delle nuove tecnologie e della collaborazione del collega Filippo Bilardo, senza il quale tutte le schede hardware non avrebbero mai visto la luce.

Vorrei infine menzionare gli sponsor del Laboratorio di Robotica senza i quali non avremmo mai potuto trovare i fondi per il nostro lavoro: **Futura Elettronica** per l’enorme supporto nella ingegnerizzazione della parte meccanica e per la fornitura di sensori e attuatori, **Xilinx** e **Mirifica** per il supporto hardware del materiale relativo alle FPGA e ai relativi tools di sviluppo, **Texas Instruments** per i sistemi Stellaris EvalBot e le schede necessarie al laboratorio di sviluppo per i microcontrollori Cortex M3.